

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 9 月 9 日 (09.09.2005)

PCT

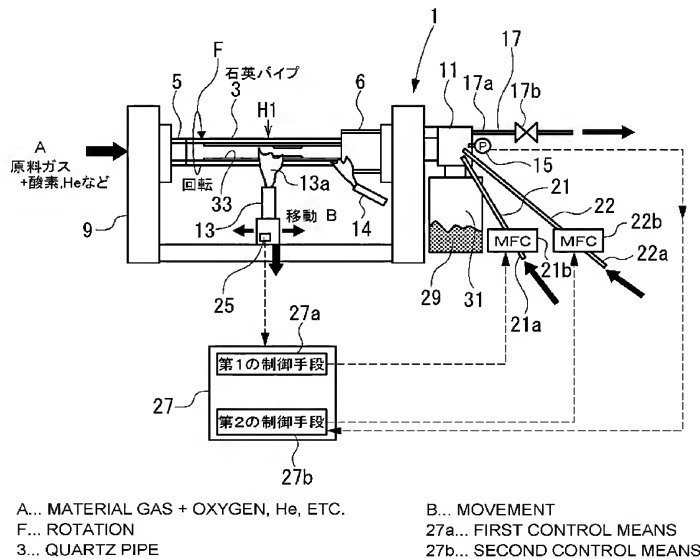
(10) 国際公開番号
WO 2005/082798 A1

- (51) 国際特許分類: C03B 37/018, 8/04 (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 平野 正晃 (HIRANO, Masaaki). 中西 哲也 (NAKANISHI, Tet-suya). 佐々木 隆 (SASAKI, Takashi). 山下 泰一郎 (YAMASHITA, Taiichiro).
(21) 国際出願番号: PCT/JP2005/002874
(22) 国際出願日: 2005 年 2 月 23 日 (23.02.2005)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ: 特願2004-053842 2004 年 2 月 27 日 (27.02.2004) JP
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号 Osaka (JP).
(74) 代理人: 中野 稔, 外 (NAKANO, Minoru et al.); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目 1 番 3 号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP).
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR PRODUCING OPTICAL FIBER MATRIX

(54) 発明の名称: 光ファイバ母材を製造する方法および装置



(57) Abstract: A method and device for producing an optical fiber matrix homogenous in its length direction while suppressing the variation of the shrinkage of a quartz pipe. In a step of depositing a glass layer on the quartz pipe, the quartz pipe is connected two or more of exhaust sections or buffer gas introducing sections, at least either the amount of exhaust gas from the exhaust sections or the amount of gas introduced into the buffer gas introducing sections is feedback-controlled, and at least the other is pattern-controlled according to the flow pattern depending on the heated position on the quartz pipe. The device comprises a material gas supply system, two or more of exhaust sections or buffer gas introducing sections in total, a heat source, position detecting means for detecting the heated position on the quartz pipe, first control means for controlling at least either the amount of exhaust gas from the exhaust sections according to the flow pattern depending on the heated position or the amount of gas introduced into the buffer gas introducing sections, and second control means for feedback-controlling at least the other.

[続葉有]

WO 2005/082798 A1



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(57) 要約: 石英パイプの収縮のばらつきを抑え長手方向に一樣な光ファイバ母材を製造できる方法と装置を提供する。この方法では、石英パイプにガラス層を堆積させる工程において、石英パイプには排気部またはバッファガス導入部が合計で二つ以上接続され、排気部からの排気ガス量またはバッファガス導入部への導入ガス量の少なくとも一つがフィードバック制御され、他の少なくとも一つが石英パイプ上の加熱位置に応じた流量パターンに従ってパターン制御される。この装置は、原料ガス供給系と、合計二つ以上の排気部またはバッファガス導入部と、熱源と、石英パイプ上の加熱位置を検出する位置検出手段と、加熱位置に応じた流量パターンに従って排気部からの排気ガス量またはバッファガス導入部への導入ガス量の少なくとも一つを制御する第1の制御手段と、他の少なくとも一つをフィードバック制御する第2の制御手段とを有する。

明 細 書

光ファイバ母材を製造する方法および装置

技術分野

- [0001] 本発明は、MCVD (Modified Chemical Vapor Deposition) 法により光ファイバ母材を製造する方法および装置に関する。

背景技術

- [0002] MCVD法は、石英パイプの一端から内部に少なくともガラス原料を含むガスを供給しつつ、石英パイプの長手方向沿いに熱源を往復運動させながら石英パイプを加熱することにより、石英パイプの内面にガラス層を堆積させる方法である。こうして得られた石英パイプを中実化することによって、光ファイバ母材が得られる。この場合の光ファイバ母材とは、そのまま線引きして光ファイバとなるものでも、外部にガラス体をさらに合成したり、外周研削を実施したり、といった加工を実施した後に線引きして光ファイバとなるものでも良い。
- [0003] MCVD法でのプリフォームの製造工程において、石英パイプに供給された原料ガスは熱源により加熱され反応し加熱位置でガラスススとなり、ガラスススは加熱位置の下流側で石英パイプの内面へ付着してガラススス体となる。そのため、石英パイプの原料ガス導入側の加熱開始端から除々にガラスススの堆積量が増加し、ある位置からは堆積量が一定となる。ガラススス体は加熱によって焼結されることでガラス層となる。
- [0004] ガラススス体が焼結する際の収縮力は、ガラスススの堆積量が多い程大きい。ガラスススの堆積量が少ない石英パイプの原料ガス導入側端と、ガラススス体の堆積量が多い石英パイプの排気側端とでは、ガラススス体が焼結する際の収縮力に大きな差が生じる。石英パイプの各位置におけるガラススス体の収縮力の差は石英パイプの収縮挙動を歪め、石英パイプの外径が長手方向で不均一になり、石英パイプに堆積するガラス層の厚みが長手方向で不均一になるという不都合を招く。
- [0005] そこで、MCVD法でのプリフォームの製造工程において、石英パイプの排気側にバッファ室を装備して、このバッファ室に供給するバッファガスの導入量を調整すること

によって石英パイプ内に圧力を印加して、石英パイプが収縮しないように収縮力とつり合うように制御する技術(特許文献1)、石英パイプからの排気ガス量を制御することで、石英パイプ内の圧力を調整する技術(特許文献2)、あるいは、石英パイプの原料ガス導入側から、原料ガスと一緒に不活性ガスを供給することとし、不活性ガスの供給量の調整によって、石英パイプ内の圧力を制御する技術(特許文献3)、などが提案されている。ここで、石英パイプ内の圧力とは、パイプ内の絶対圧力と外気圧との差圧、いわゆる、ゲージ圧のことである。

[0006] ところで、近年のMCVD法による光ファイバ母材を製造する方法では、肉厚が5 mm以下といった比較的薄肉の石英パイプに0.5g/分を超えるような大きな堆積速度でガラススを堆積させ、プリフォームの生産性を向上させることが要望されている。その場合、石英パイプは薄肉なので変形しやすい。また、ガラススが厚く堆積するので、石英パイプの両端におけるガラスス体の収縮力の差はさらに顕著になる。その結果、プリフォームの外径精度の著しい低下を招く。パイプの形状を均一に保つため、パイプの内圧を調整して収縮力に対抗させようとする、両端での内圧の差は5倍以上と極めて大きくなる。そのため、外径精度の低下を防止するには、石英パイプ内における圧力の調整範囲の拡大と調整速度の高速化が不可欠となる。

[0007] ところが、特許文献1、2、3に開示の従来技術では、石英パイプ内における圧力の調整範囲の拡大や調整速度の高速化に十分に対応できていなかった。例えば、特許文献1、2の技術では、石英パイプ内における圧力の調整範囲の拡大や調整速度の高速化のために、バッファガスの導入量や排気ガス量を調整する手段の石英パイプ内の圧力変動に対する応答を敏感にすると、調整後の石英パイプ内の圧力が、目標とする適正値を超えた過応答となって、すぐに、過応答部分に対する圧力差を解消するための再調整が実施されて、石英パイプ内の圧力を速やかに目標とする適正値に収束させることができない。そのため、石英パイプ内の圧力の変動に起因した形状不良を招く虞があった。加えて、パイプ内の圧力を急激に低下させた場合は、ススが逆流する、という不具合を発生してしまうこともあった。

[0008] また、特許文献3の技術の場合も、石英パイプ内の圧力を速やかに目標値に収束させることが困難である。さらに、特許文献3の技術の場合は、不活性ガスの流量調

整によって、一緒に供給される原料ガスの流速が変化してしまうため、原料ガスの化学反応の収率やガラススの堆積効率が変化してしまう虞もあった。

特許文献1:特開昭56-45845号公報

特許文献2:特開昭59-217633号公報

特許文献3:特開2002-274861号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0009] 本発明は、MCVD法による光ファイバ母材製造工程において、石英パイプの収縮のばらつきを防止して、良好な製造を連続実施することのできる光ファイバ母材を製造する方法および装置を提供することである。

課題を解決するための手段

- [0010] 目的を達成するため、本発明の一面として、光ファイバ母材を製造する方法が提供される。この方法では、少なくともガラス原料を含むガスを石英パイプの内部に投入しつつ石英パイプの長手方向に熱源を相対的に移動させて石英パイプを外部から加熱して石英パイプ内にガラス層を堆積させる工程を有し、堆積させる工程では、石英パイプに排気部またはバッファガス導入部が合計で二つ以上接続され、排気部からの排気ガス量またはバッファガス導入部への導入ガス量の少なくとも一つがフィードバック制御されると共に、排気部からの排気ガス量またはバッファガス導入部への導入ガス量の他の少なくとも一つが石英パイプ上の加熱位置に応じた流量パターンに従ってパターン制御されている。
- [0011] フィードバック制御は、石英パイプ内の圧力を測定し、圧力が加熱位置に応じて設定される目標値に一致するように排気部からの排気ガス量またはバッファガス導入部への導入ガス量の少なくとも一つを制御するものであってもよく、加熱位置の近傍における石英パイプの形状を測定し、形状が所定形状になるように排気部からの排気ガス量またはバッファガス導入部への導入ガス量の少なくとも一つを制御するものであってもよい。
- [0012] 後者の場合、形状の実測値をあらかじめ設定された目標値に一致させるために必要な石英パイプ内の圧力の最適値を算出し、石英パイプ内の圧力を最適値に一致さ

せるように制御してもよい。また、形状は石英パイプの外径、内径、肉厚の少なくとも一つであってもよい。

[0013] ガラス層の堆積速度は0.5 g/分以上であってもよく、また、石英パイプ内の圧力の調整範囲における最大値と最小値との比は2倍以上であってもよく、ガラス層を堆積した後の長手方向における石英パイプの外径の変動量が直径で±1 mm以下であってもよい。さらに、石英パイプ内における圧力の変化量が、1秒あたり、-50 Pa以上+50 Pa以下であってもよく、石英パイプ内における圧力が、継続して+20 Pa以下となる時間が2秒未満であってもよい。

[0014] 本発明の他の一面として、光ファイバ母材の製造装置が提供される。この装置は、石英パイプの一端からその内部に少なくともガラス原料を含むガスを導入するガス供給系と、石英パイプの他端に接続可能な合計二つ以上の排気部またはバッファガス導入部と、石英パイプの長手方向に相対的に移動する熱源と、熱源による石英パイプ上の加熱位置を検出する位置検出手段と、加熱位置に応じた流量パターンに従って排気部からの排気ガス量またはバッファガス導入部への導入ガス量の少なくとも一つを制御する第1の制御手段と、排気部からの排気ガス量またはバッファガス導入部への導入ガス量の他の少なくとも一つをフィードバック制御する第2の制御手段とを有する。

[0015] この装置は、石英パイプ内の圧力を測定する圧力測定手段をさらに有し、第2の制御手段は、石英パイプ内の圧力が加熱位置に応じて設定される目標値に一致するように、排気部からの排気ガス量またはバッファガス導入部への導入ガス量の他の少なくとも一つをフィードバック制御のものであってもよい。また熱源の加熱位置近傍で石英パイプの形状を測定する形状測定手段をさらに有し、第2の制御手段は、形状測定手段により測定されたパイプ形状をあらかじめ設定された目標パイプ形状に一致するように、排気部からの排気ガス量またはバッファガス導入部への導入ガス量の他の少なくとも一つをフィードバック制御するものであってもよい。

発明の効果

[0016] 本発明の光ファイバ母材を製造する方法および装置によれば、石英パイプ内の圧力の調整範囲が大きくても、調整動作の過応答を招くことなく、石英パイプ内の圧力

を速やかに目標値に収束させることが可能になる。従って、薄肉の石英パイプに大きな堆積速度でガラス層を堆積させる場合でも、石英パイプの収縮のばらつきを防止して、良好な製造を連続実施することができる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]図1は、本発明に係る光ファイバ母材を製造する装置の第一実施形態を示す概念図である。

[図2]図2は、第一実施形態の光ファイバ母材を製造する装置の制御部の動作を示すブロック図である。

[図3]図3は、本発明に係る光ファイバ母材を製造する装置の第二実施形態を示す概念図である。

[図4]図4は、第二実施形態の光ファイバ母材を製造する装置の制御部の動作を示すブロック図である。

[図5]図5は、本発明に係る光ファイバ母材を製造する装置の第三実施形態を示す概念図である。

[図6]図6は、第三実施形態の光ファイバ母材を製造する装置の制御部の動作を示すブロック図である。

[図7]図7は、パイプ内圧力の目標値と実測値およびバッファガス流量とを加熱位置に対してプロットしたグラフであり、(a)は比較例1におけるグラフ、(b)は比較例2におけるグラフである。

[図8]図8は、実施例1においてパイプ内圧力の目標値と実測値およびバッファガス流量とを加熱位置に対してプロットしたグラフである。

[図9]図9は、実施例2においてパイプ内圧力の目標値と実測値およびバッファガス流量とを加熱位置に対してプロットしたグラフである。

[図10]図10は、表1のパイプ内圧力の最大値と最小値の比を堆積速度に対してプロットしたグラフである。

[図11]図11は、表2のそれぞれの例において堆積速度に対してガラスパイプの外径の変動量をプロットしたグラフである。

[図12]図12は、表2のそれぞれの例において堆積速度に対してガラスロッドの径の変

動量をプロットしたグラフである。

[図13]図13は、実施例4において石英パイプ内の圧力の変化率の上限をパラメータとして、石英パイプの外径を石英パイプの長手方向の位置に対してプロットしたグラフである。

符号の説明

- [0018]
- 1 光ファイバ母材を製造する装置
 - 3 石英パイプ
 - 5, 6 ガラス管
 - 9 支持台
 - 11 バッファ室
 - 13 熱源
 - 14 補助熱源
 - 15 圧力計
 - 17 排気部
 - 21 第1のバッファガス導入部
 - 21b 流量制御手段
 - 22 第2のバッファガス導入部
 - 22b 流量制御手段
 - 25 位置検出手段
 - 27 制御部
 - 27a 第1の制御手段
 - 27b 第2の制御手段
 - 29 スス
 - 31 スス捕集部
 - 33 ガラス層
 - 101 光ファイバ母材を製造する装置
 - 117 流量制御手段
 - 201 光ファイバ母材を製造する装置

227 制御部

227a 第1の制御手段

227b 最適圧算出部

227c 第2の制御手段

230 形状測定手段

231 CCDカメラ

232 画像解析処理装置

発明を実施するための最良の形態

[0019] 本発明の実施形態が、以下において、図面を参照して説明される。図面は、説明を目的とし、発明の範囲を限定しようとするものではない。図面において、説明の重複を避けるため、同じ符号は同一部分を示す。図面中の寸法の比率は、必ずしも正確ではない。

[0020] 図1は、本発明に係る光ファイバ母材を製造する装置の第一実施形態を示す概念図である。第一実施形態の光ファイバ母材を製造する装置1は、石英パイプの内周面にMCVD法によってガラス層を堆積させて、光ファイバ母材を形成するもので、円筒状の石英パイプ3の両端をハンドリング用のガラス管5、6を介して支持する支持台9を備える。図1では、石英パイプ3は長手を水平にして配置されているが、垂直にして配置することも可能である。支持台9は、石英パイプ3を中心軸回りに回転させる図示しない回転駆動機構を有している。

[0021] また、光ファイバ母材を製造する装置1は、石英パイプ3の一端(図1では、左端)から内部にガラス原料ガスを導入する図示略の原料ガス供給系、石英パイプ3の他端に接続されたバッファ室11、石英パイプ3の長手方向に沿って往復運動可能に支持台9上に装備されて石英パイプ3を加熱する熱源13、石英パイプ3内の圧力を測定する圧力計15、バッファ室11を介して石英パイプ3の他端に接続された第1および第2のバッファガス導入部21、22および排気部17、熱源13による石英パイプ3上の加熱位置H1を検出する位置検出手段25、および、バッファガス導入部21、22の導入ガス量を調整することで石英パイプ3内の圧力を所望の値に制御する制御部27を備える。

- [0022] 原料ガス供給系が石英パイプ3の一端に供給するガスは、ガラスの原料ガスとしての SiCl_4 、 GeCl_4 、 POCl_3 、 SiF_4 等のハロゲン化物や、 $(\text{CH}_3)_3\text{SiO}$ 等のシロキサン、及び、酸素ガスやヘリウムガス等のキャリアガスを含む。バッファ室11は、石英パイプ3の内の圧力を調整するために設けられた部屋である。バッファ室11の直下には、石英パイプ3の内周面に付着せずに石英パイプ3の端部からバッファ室11に流出したスス29を回収するスス捕集部31が接続されている。
- [0023] 熱源13は、酸水素火炎やプラズマ火炎等の火炎13aによって石英パイプ3を所定温度に加熱するバーナである。誘導炉や抵抗炉等の炉や、 CO_2 レーザーといったレーザーも熱源として使用できる。なお、第一実施形態では、石英パイプ3の他端側のハンドリング用ガラス管6にススが付着しないように、ガラス管6を加熱する補助熱源14も装備されている。支持台9に支持された石英パイプ3は、熱源13により全周に渡って均等に加熱されるように、矢印Fの方向に回転駆動される。第一実施形態の場合、ガラス層の堆積速度が、0.5g/分以上となるように、原料ガスの供給量を制御すると共に、熱源13による加熱動作を制御する。
- [0024] 圧力計15は、石英パイプ3内に連通しているバッファ室11内の圧力を検出することで、石英パイプ3内の圧力を間接的に測定する圧力測定手段である。圧力計15が検出した石英パイプ内の圧力の実測値は、フィードバック制御のために、制御部27に通知される。
- [0025] バッファ室11に接続された排気部17は、バッファ室11に連通した排気管17aと、排気管17aの開度を調整することでバッファ室11からの排気ガス量を制御する排気調整弁17bとを備えている。第1のバッファガス導入部21および第2のバッファガス導入部22は、バッファ室11に連通する管路21a、22aの途中に流量制御手段21b、22bを装備したもので、各管路21a、22aに供給される圧力調整用のバッファガスのバッファ室11への導入量を流量制御手段21b、22bによって所望流量に調整可能である。各管路21a、22aに供給されるバッファガスは、例えば、酸素や不活性ガスである。
- [0026] 位置検出手段25は、第一実施形態の場合、熱源13に取り付けられていて、石英パイプ3の右端または左端から熱源13までの水平方向の離間距離を測定することで、熱源13による石英パイプ3上の加熱位置H1を検出する。位置検出手段25が検出

した加熱位置H1は、制御部27に通知される。

- [0027] 図2は、第一実施形態の光ファイバ母材を製造する装置の制御部の動作を示すブロック図である。制御部27は、第1の制御手段27aと第2の制御手段27bとを備えている。また、制御部27は、加熱位置H1毎の、石英パイプ3内の圧力とパイプの形状の変化量との関係、および、石英パイプ3内の圧力と導入ガス量との関係を収集したデータと、そのデータに基づいて、加熱位置H1毎の適正な石英パイプ内の圧力を確保し得る導入ガス量を算出する演算パターンとを保有している。
- [0028] 第1の制御手段27aは、位置検出手段25から熱源13による加熱位置H1の情報を受け取り、演算パターンに基づいて加熱位置H1毎に決定される流量パターンに従って、流量制御手段21bを介して第1のバッファガス導入部21からバッファ室11への導入ガス量を制御する。第1の制御手段27aとは別系統の第2の制御手段27bは、演算パターンに基づいて加熱位置H1に応じて石英パイプ3内の圧力の目標値を算出し、圧力計15から通知された石英パイプ内の圧力の実測値が目標値に一致するように、流量制御手段22bを介して、バッファ室11に供給する導入ガス量を調整する。
- [0029] 光ファイバ母材を製造する装置1は、石英パイプ3の一端から内部にガラス原料を投入しつつ、石英パイプ3を外部から熱源13によって加熱することで、石英パイプ3内にガラス層33を堆積させる。その際、制御部27がバッファガス導入部21、22からバッファ室11への導入ガス量に対して、第1の制御手段によるパターン制御と第二の制御手段によるフィードバック制御とを行い、石英パイプ3内の圧力を所定の圧力に制御する。パターン制御は石英パイプ3内に印加させたい圧力変化を大きな変更幅で一気に変更するのに極めて有用である。また、フィードバック制御は石英パイプ3内の圧力を正確に微調整するのに極めて有用である。
- [0030] このように、性質の異なるパターン制御とフィードバック制御とを組み合わせることで、石英パイプ3内圧力の調整範囲が大きくても、調整動作の過応答を招くことなく、石英パイプ内の圧力を速やかに目標とする適正值に調整収束させることが可能になる。従って、薄肉の石英パイプ3に大きな堆積速度でガラス層33を堆積させる場合でも、石英パイプ3の形状の変動を防止して、良好な製造を連続実施することができる。

- [0031] 内周面にガラス層を所定厚さで堆積させた石英パイプ3は、さらに加熱してコラプスによって中実化することで、光ファイバ母材に仕上げられる。中実化の際には、石英パイプをそのまま収縮させて中実化しても良いし、予め石英パイプ3の中空部にガラスロッドを挿入して、コラプスによってロッドとパイプとを一体化するようにしても良い。
- [0032] また、第一実施形態では、バッファ室11に装備した圧力計15によって石英パイプ内の圧力を直接検出するようにしたが、圧力計15の装備位置は、石英パイプ3の原料ガス導入側の端部や排気部17等に変更することも可能であり、例えば排気部17に装備して、石英パイプ内の圧力を排気部の圧力との相対比較で間接的に求めるところもできる。
- [0033] なお、第一実施形態では、石英パイプ内の圧力の調整のために、バッファ室11に導入される導入ガス量を調整するようにした。しかし、導入ガス量を調整する代わりに、排気部17から排気される排気ガス量を調整しても、あるいは、排気ガス量および導入ガス量を共に調整するようにしても、石英パイプ内の圧力の調整は可能である。
- [0034] 図3は、本発明に係る光ファイバ母材を製造する装置の第二実施形態を示す概念図である。図4は、第二実施形態の光ファイバ母材を製造する装置の制御部の動作を示すブロック図である。第二実施形態の光ファイバ母材を製造する装置101は、パターン制御の対象がバッファ室からの排気ガス量になっている点で第一実施形態と異なる。
- [0035] 光ファイバ母材を製造する装置101は、制御部127を有する。これに伴い、光ファイバ母材を製造する装置101では、光ファイバ母材を製造する装置1で装備していた第2のバッファガス導入部22を削除したり排気部17の排気管17aに流量制御手段117を装備したり一部の構成を変更しているが、それ以外の構成は光ファイバ母材を製造する装置1と共通である。制御部127は、第1の制御手段127aと第2の制御手段127bを備えている。また、制御部127は、加熱位置H1毎の石英パイプ3内の圧力とパイプの形状の変化量との関係、および、排気ガス量と石英パイプ3内の圧力との関係を収集したデータと、そのデータに基づいて加熱位置H1毎の適正な石英パイプ内の圧力を確保し得る排気ガス量を算出する演算パターンとを保有している。
- [0036] 第1の制御手段127aは、位置検出手段25から加熱位置H1の情報を受け取り、演

算パターンに基づいて加熱位置H1毎に決定される流量パターンに従って、流量制御手段117を介して排気部17からの排気ガス量を制御する。第2の制御手段127bは、演算パターンに基づいて加熱位置H1毎の石英パイプ3内の圧力の目標値を算出し、石英パイプ3内の圧力が、圧力計15から通知された石英パイプ内の圧力の実測値が目標値に一致するように、流量制御手段21bを介してバッファ室11に供給する導入ガス量を調整する。

[0037] なお、バッファ室11に接続された排気部17には、流量制御手段117の他に、先の第一実施形態と同様、バッファ室11に連通した排気管17aと、排気管17aの開度を調整することでバッファ室11からの排気ガス量を制御する排気調整弁17bとが装備される。排気ガス量の制御方法は、排気調整弁17bの開度を調整することで実施しても良い。光ファイバ母材を製造する装置101のように、加熱位置H1の移動に応じて排気部17からの排気ガス量を調整するようにしても、石英パイプ内の圧力を大きな調整範囲で一気に調整することが可能で、第一実施形態と同様の作用・効果を得ることができる。

[0038] 図5は、本発明に係る光ファイバ母材を製造する装置の第三実施形態を示す概念図である。第三実施形態の光ファイバ母材を製造する装置201は、第一実施形態に示した光ファイバ母材を製造する装置1の一部を改良したもので、加熱位置近傍で石英パイプ3の形状を撮影するCCDカメラ231と、CCDカメラ231の撮影した画像を解析して石英パイプ3の形状(外径、内径、肉厚)を算出する画像解析処理装置232とから構成される形状測定手段230を有する。

[0039] 第三実施形態に装備された制御部227は、熱源13による石英パイプ3上の加熱位置H1に応じて予め設定された流量パターンに従って第1のバッファガス導入部21による導入ガス量を制御する第1の制御手段227aと、石英パイプ3上の加熱位置近傍で石英パイプ3の形状を測定し測定されたパイプ形状を予め設定された目標パイプ形状に一致させるために必要な石英パイプ内の圧力の最適値を決定する最適圧算出部227bと、圧力計15の検出した実測値が最適圧算出部227bの算出した最適値に一致するように、第2のバッファガス導入部22への導入ガス量をフィードバック制御する第2の制御手段227cとを備えている。第三実施形態の場合、最適圧算出部22

7bは、形状測定手段230の画像解析処理装置232の解析結果から、加熱位置近傍での石英パイプ3の形状情報を獲得する。

[0040] 光ファイバ母材を製造する装置201では、石英パイプ3の一端から内部にガラス原料を投入しつつ、石英パイプ3を外部から熱源13によって加熱することで、石英パイプ3内にガラス層33を堆積させる。その際、制御部227がバッファガス導入部21, 22からバッファ室11への導入ガス量を調整することで、石英パイプ3内の圧力を所望の圧力に調整して、MCVD法による光ファイバ母材製造を実現する。

[0041] 図6は、第三実施形態の光ファイバ母材を製造する装置の制御部の動作を示すブロック図である。制御部227は、第1の制御手段227aおよび第2の制御手段227cが、それぞれ個別に、導入ガス量を制御する。第1の制御手段227aは、位置検出手段25から熱源13による加熱位置H1の情報を受け取り、その情報に応じて予め設定された流量パターンに従って第1のバッファガス導入部21への導入ガス量を制御して、石英パイプ3内の圧力を所定圧に変化させるパターン制御を実施する。

[0042] 第1の制御手段227aの処理に並行して、最適圧算出部227bは、形状測定手段230を介して、石英パイプ3上の加熱位置H1近傍での石英パイプ3の形状としての外径寸法を測定し、測定されたパイプ形状が予め設定された目標パイプ形状に一致するために必要な石英パイプ内の圧力の最適値を決定する最適圧算出工程を実施する。

[0043] そして、第2の制御手段227cは、圧力計15により算出した石英パイプ3内の圧力の実測値が最適圧算出部227bの算出した最適値に一致するように、石英パイプ3内の圧力の実測値に基づいて第2のバッファガス導入部22への導入ガス量をフィードバック制御する。なお、石英パイプ3の形状の実測値が、熱源13の加熱位置H1に応じて予め設定される形状の目標値に一致するように、石英パイプ内の最適圧力を算出せずに、バッファガス導入部21, 22の導入ガス量を制御してもよい。

[0044] 光ファイバ母材を製造する装置201が実施する製造方法では、光ファイバ母材を製造する装置1が実施する製造方法の場合と同様に、MCVD法による光ファイバ母材製造工程において、熱源13の往復移動によって石英パイプ3を外周から加熱した際に石英パイプ3外径の変動の要因を防止するべく、パターン制御と、フィードバック

制御とで石英パイプ3内の圧力を制御する。

- [0045] その場合に、パターン制御は、第一実施形態の場合と同様に、熱源13の加熱位置H1に対応して導入ガス量を導入して石英パイプ内の圧力を調整するもので、石英パイプ3内に印加させたい圧力変化を、大きな変更幅で一気に変更するのに極めて有用である。一方、光ファイバ母材を製造する装置201におけるフィードバック制御は、石英パイプ3の形状を予め設定された目標形状に調整するべく最適圧算出部227bで算出した石英パイプ3内の圧力の最適値と圧力計15が検出した実測値に基づいて、導入ガス量をフィードバック制御するもので、石英パイプ3内の形状を正確に微調整するのに極めて有用である。
- [0046] そして、性質の異なるパターン制御とフィードバック制御とを組み合わせることで、第一実施形態の場合と同様に、石英パイプ内の圧力の調整範囲が大きくても、調整動作の過応答を招くことなく、石英パイプ内の圧力を速やかに目標とする適正值に調整収束させることが可能になる。従って、薄肉の石英パイプ3に大きな堆積速度でガラス層33を堆積させる場合でも、石英パイプ3の形状の変動を防止して、良好な製造を連続実施することができる。
- [0047] なお、石英パイプ3内の圧力によって影響を受ける石英パイプ3の形状としては、石英パイプ3の外径、または内径、またはパイプの肉厚が存在するが、最適圧算出工程で監視する形状は、その内のいずれか少なくとも一つでよく、それぞれの形状の測定に必要な測定機器や測定方法を吟味して、測定し易い形状パラメータを選択すれば良い。石英パイプ3の外径、または内径、またはパイプの肉厚のいずれの形状パラメータを採用しても、正確な測定ができれば、フィードバック制御における制御処理精度の向上に貢献でき、石英パイプ3の形状を安定維持した良好なプリフォームの製造を実現することができる。
- [0048] 石英パイプ3の形状の測定方法としては、CCDカメラで撮影した画像を処理することで石英パイプ3の外径、内径、肉厚を測定する方法の他に、レーザ外径測定器を使用して加熱位置付近における石英パイプ3の外径を測定する方法、さらには、透過X線を利用した外径、内径、肉厚の測定方法、さらには、音波や光を石英パイプ3に照射して、音波の伝搬時間や光の光路長を解析することで石英パイプの肉厚等を

測定する方法を採用することもできる。

- [0049] また、MCVD法による光ファイバ母材製造方法においては、石英パイプ3内のガラス層33の堆積速度がたとえば0.5 g/分以上と大きくなるほど、長手方向における石英パイプ3内のガラス層の堆積量の変化が大きくなり、石英パイプ3内の圧力の調整範囲が大きくなる。その場合には、上記の各実施の形態にも示したように、パイプ内圧力を大きな範囲で一気に調整するのに適したパターン制御と、パイプ内圧力を小さな範囲で正確に微調整するのに適したフィードバック制御とを組み合わせることで実施することが極めて有効になる。そして、安定したプリフォーム製品の製造が実現できると同時に、堆積速度の向上によってプリフォーム製品の生産性を向上させることが可能になる。
- [0050] ところで、パイプの外径は、ススの収縮力によって一旦縮径した後、パイプ内の圧力によって再び膨張する場合がある。従って、一定の条件でフィードバック制御をかける場合、パイプの形状を測定する位置においてパイプが収縮中か、膨張中か、あるいは膨張後かで、フィードバック制御がうまく働かなくなる恐れがある。例えば収縮中や膨張中のところで外径を測定すると、制御によって、必要よりも大きな内圧をかけてしまっ、大きく膨張させてしまう恐れがある。また、膨張後の箇所は、ガラスが透明化している部分よりも10～50 mm後方となるため、その部分で外径を読むと、制御が遅くなる恐れがあり、その遅れを補償しようとして、パイプ内の圧力を大きく変化させ、その結果、外径が周期的に大きく変動してしまう恐れがある。
- [0051] このような、大きなパイプの外径変動は、MCVD法の堆積速度が0.5g/分より大きく、スス体の堆積量が多い場合に発生しやすい。また、特にパイプの外表面の温度が1600℃以上となる長さが50 mm以上となるといった、ヒートゾーンが広い場合には発生しやすいことが判っている。
- [0052] それを避けるためには、パイプの長手方向で複数の点を測定し、この測定からパイプの膨張後の外径を予測し、予見的に制御を実施するのが好ましい。こうする事で、大きな外径変動を抑制することが可能となる。測定位置は、パイプの縮径が開始していない位置、縮径部、膨張部、膨張が完了した位置とするとよい。

- [0053] 予見的な制御とは、それぞれの測定位置での外径、および、それぞれの測定点の位置から、パイプが縮径・膨張する速度、および膨張後の外径を予見し、現在印加しているパイプ内の圧力に対して、どの程度圧力を上昇、または下降すれば良いか、算出して制御する方法が例として挙げられる。あるいは、それぞれの外径の測定位置での温度を測定し、または他の点での温度の測定値から伝熱の式によって予測し、その結果に従ってパイプの粘度を求め、表面張力によってパイプがどの程度縮径、膨張しているかを予測することで、膨張後の外径を予見する方法が、あげらる。
- [0054] 急激に圧力を上昇・下降させると、制御の遅れが発生した場合、大きく外径が変化してしまう。そして、その大きく変化した外径を制御に用いると、さらに反対方向（膨張した場合は急激な縮径、縮径した場合は急激な膨張）の変形が発生してしまう。このように、外径の周期的で、急激な変化が発生しやすい。これは、パイプの内圧の変化量を ± 50 Pa/秒以下の範囲に制限すれば避けられる。

実施例 1

- [0055] 光ファイバ母材を製造する装置1を用いて、第一の制御手段で加熱位置に応じてバッファガスの導入量をパターン制御するとともに、第二の制御手段で石英パイプ内の圧力が目標値になるようにバッファガスの導入量をフィードバック制御する実施例1、フィードバック制御のみおこなう比較例1、および、パターン制御のみおこなう比較例2について、石英パイプ内の実際の圧力を比較した。
- [0056] いずれの場合でも、外径(直径)34mm、肉厚4mm、長さ800mmで0.2重量%のClが添加された石英パイプを用いた。熱源は、熱プラズマバーナーを使用した。バーナーの往復運動の速度、すなわち、石英パイプ上での加熱位置の移動速度は、100 mm/分とした。石英パイプの外表面の最高温度は2200℃、ガラス層の合成速度は1 g/分になるように調節した。ガラス層の純石英に対する比屈折率差の目標値は0.40%である。石英パイプの他端にはバッファ室を設けた。バッファ室内の圧力を石英パイプ内の圧力とみなした。また、排気ガス量は、バッファガスを流さない状態で石英パイプ内の圧力が -20 Pa程度になるように設定した。以上の条件で、MCVD法で5層分のガラス体の堆積を実施する。
- [0057] なお、上記の条件でMCVD法を実施する際、加熱位置がガラス体の堆積量が

少ない原料ガス導入側端に近い位置の時には、石英パイプ内の圧力を+50 Pa程度、加熱位置がガラスススの堆積量が多い排気端に近い位置の時には、石英パイプ内の圧力を+400 Pa程度にする必要があることが判っている。

[0058] 図7は、パイプ内圧力の目標値(設定圧力)と実測値及びバッファガス流量とを加熱位置に対してプロットしたグラフであり、(a)は比較例1におけるグラフ、(b)は比較例2におけるグラフである。比較例1の場合は、石英パイプ内の圧力の目標値と実測圧力との間に、図示のように、 ± 40 Pa程度の差が生じ、その結果、石英パイプの外径(直径)に基準値に対して ± 2 mm程度の誤差が生じた。また、バッファガスの導入量は、石英パイプ内の圧力の目標値と実測圧力との差分に相応して、10〜46 SLM(標準状態におけるリットル/分で表した流量)に変化していた。比較例1では、製造された石英パイプを中実化した長さ500 mmのガラスロッドにおいて、ガラス層合成部の直径が 5.5 ± 0.2 mmとなり、純石英に対する比屈折率差が $0.395 \pm 0.10\%$ となり、満足できる品質ではなかった。

[0059] 比較例2の場合は、バッファガスの導入量変更に伴って、排気の条件が変化してしまい、ガラススス堆積中に発生したススが排気部に詰まるなど不具合が発生する場合もあった。そして、比較例2の場合も、図示のように、石英パイプ内の圧力の目標値と実測圧力との間に、 ± 40 Pa程度の差が生じ、その結果、石英パイプの外径(直径)に基準値に対して ± 2 mm程度の誤差が生じた。また、比較例2の場合は、バッファガスの導入量が、加熱位置の移動に伴って、10〜45 SLMの変化を示した。比較例2では、製造された石英パイプを中実化した長さ500 mmのガラスロッドにおいて、ガラス層合成部の直径が 5.7 ± 0.2 mmとなり、純石英に対する比屈折率差が $0.410 \pm 0.10\%$ となり、満足できる品質ではなかった。

[0060] 図8は、実施例1においてパイプ内圧力の目標値と実測値及びバッファガス流量とを加熱位置に対してプロットしたグラフである。実施例1では、第1のバッファガス導入部からの導入ガス量をパターン制御により2〜18 SLMと変化させた。加えて、第2のバッファガス導入部からの導入ガス量を、フィードバック制御により石英パイプ内の圧力の実測値と目標値との差分に相応して、10〜20 SLMと変化させた。その結果、石英パイプ内の圧力は、目標値に対して ± 3

Paという極めて微小なずれに抑えることができ、良好な制御が可能になった。

実施例 2

- [0061] 実施例2では、光ファイバ母材を製造する装置201を用いて、第一の制御手段でバッファガスの導入量を加熱位置に応じてパターン制御するとともに、第二の制御手段でバッファガスを石英パイプ内の圧力が目標値になるようにフィードバック制御した。図9は、実施例2においてパイプ内圧力の目標値と実測値及びバッファガス流量とを加熱位置に対してプロットしたグラフである。使用した石英パイプ、熱源は実施例1と同じである。製造条件は、熱源の速度を150 mm/分、石英パイプの外表面の最高温度を2200℃、ガラス層の堆積速度を1 g/分、ガラス層の純石英に対する比屈折率差の目標値を0.40%とした。また、排気の量はバッファガスを流さない状態で石英パイプの内圧が-30 Pa程度になるようにした。以上の条件で、MCVD法により10層のガラス層の堆積を実施する。
- [0062] なお、図5に示した装置構成において、CCDカメラ231によって測定される石英パイプ3の外径が、石英パイプ3の長手方向全域に渡って直径で34mmとなるように、最適圧算出部227b及び第2の制御手段227cによるフィードバック制御を実施した。また、第1のバッファガス導入部からの導入ガス量は加熱位置の移動に応じて、8〜40SLMと変化させた。フィードバック制御する第2のバッファガス導入部からの導入ガス量は、石英パイプ内の圧力の実測値と目標値との差分に相応して、10〜17SLMの変化を示した。最適圧算出部227b及び第2の制御手段227cによるフィードバック制御により、加熱位置が原料ガス導入端に近い位置の時には、石英パイプ内の圧力が+45Pa程度、加熱位置が排気端に近い位置の時には、石英パイプ内の圧力が+415Pa程度になる石英パイプ3内の圧力制御が可能になった。
- [0063] 実施例2の製造工程では、石英パイプ内の圧力は、目標値に対して±3Paという極めて微小なずれに抑えることができ、良好な制御が可能になった。さらに、石英パイプの外径変動も、直径で 34.0 ± 0.2 mmとなり、実施例1よりもさらに好結果が得られた。また、実施例2で製造された石英パイプを中実化した時長さ500 mmのガラスロッドは、ガラス層堆積部の直径が 5.6 ± 0.1 mmとなり、純石英に対する比屈折率差が $0.400 \pm 0.06\%$ となり、ばらつきの小さい満足できる品質が得られた。

[0064] 表1は、MCVD法で石英パイプ内にガラス層を堆積させる際に、石英パイプの原料流に関して下流側(他端側)を一定の形状に保っておくのに必要な圧力(圧力の最大値)を堆積速度0.2〜2.0 g/分の各々の場合において示したものである。なお、石英パイプの原料流に関して上流側(一端側)を一定の形状に保っておくのに必要な圧力(圧力の最小値)は、堆積速度0.2〜2.0 g/分のいずれの場合でも+45 Paである。また、図10は、表1のパイプ内圧力の最大値と最小値の比を各々の堆積速度に対してプロットしたグラフである。

[0065] [表1]

堆積速度 g/分	パイプ内圧力の最大値 Pa	比
0.2	+60	1.3
0.4	+70	1.6
0.5	+250	5.6
0.7	+300	6.7
1.0	+400	8.9
1.5	+420	9.3
2.0	+450	10.1

[0066] いずれの堆積速度においても、石英パイプの形状を一定に保っておくのに必要な圧力は一端側と他端側とで異なる。石英パイプ3に長手方向での形状変動を生じさせないためには、加熱位置の移動に伴って石英パイプ3内の圧力を調整することが不可欠であり、ガラス層33の堆積速度が大きくなるほど必要な調整範囲(最大値と最小値の比)は増大する傾向にある。最大値と最小値との比は2倍以上に設定することが望ましい。比を2倍以上に設定すれば、ガラス層33の堆積速度が0.5 g/分以上であっても、表1および図10が示すように、石英パイプ3の形状を一定に保つておくことが出来る。ガラス層33の堆積速度を0.5 g/分以上の高速にして、ガラス層33の堆積を繰り返すことによって、大型の母材を安定製造することが可能になる。

- [0067] なお、本発明に係る光ファイバ母材を製造する方法では、石英パイプ3の形状として外径を実測して、実測外径とあらかじめ設定した目標外径との差で、石英パイプ3内圧力の最適値を算出する際に、実測外径とあらかじめ設定した目標外径との差の許容値をあらかじめ設定しておけば、許容値の範囲内であれば、最適値の算出処理を省略して、処理を簡略化することができる。また、その場合の許容値は、光ファイバ化される領域に換算して規定しておけば、外径に寸法誤差が生じて、光ファイバ化された状態では実害の無い範囲に、品質を維持することができ、設計仕様通りの安定した品質の製品を歩留まり良く製造することができる。具体的には、石英パイプ3は、ガラス層33を堆積した後の外径の直径での変動量が、後の製造処理工程で光ファイバ化される領域で±1 mm以下となるように規制すると良い。

実施例 3

- [0068] 光ファイバ母材を製造する装置201を用いて、パターン制御とパイプ外径を所定値にするようなフィードバック制御をとともにおこなう実施例3、石英パイプ内の圧力を所定値にするフィードバック制御のみをおこなう比較例3、および、パイプ外径を所定値にするフィードバック制御のみをおこなう比較例4、について、MCVD法によって石英パイプ内にガラス層を堆積させた。
- [0069] いずれの場合でも、外径(直径)42mm、肉厚3mm、長さ800mmで0.2重量%のClが添加された石英パイプを用いた。熱源は、熱プラズマを用いたプラズマバーナーを使用した。バーナーの往復運動の速度は140mm/分とした。石英パイプの外表面の最高温度を2200℃、ガラス層の合成速度は0.2〜3.0 g/分になるように調節した。実施例3および比較例4におけるパイプ外径(直径)の所定値は42 mmとした。以上の条件でMCVD法で20層分のガラス体を堆積し、ガラス層堆積完了後の石英パイプ外径の変動量と、さらに石英パイプを中実化した後のガラスロッドの径の変動量を測定し比較した(表2)。
- [0070] なお、パイプ外径の測定は、パイプの一端、他端からそれぞれ100mmを除いた中間部分600 mmをCCDカメラで撮影し画像処理することでおこなった。また、ガラスロッドの径の測定は、ガラス堆積部一端から200mm、他端から150mmを除いた中間

部分450 mmで測定した。

[0071] [表2]

堆積速度 g/分	比較例3		比較例4		実施例3	
	パイプ外径 変動 %	ロッド径 変動 %	パイプ外径 変動 %	ロッド径 変動 %	パイプ外径 変動 %	ロッド径 変動 %
0.2	±1.8	±1.2	±0.20	±0.35	±0.15	±0.21
0.4	±1.9	±1.5	±0.44	±0.38	±0.15	±0.22
0.5	±2.4	±2.0	±1.6	±1.2	±0.12	±0.21
0.6	±3.5	±3.1	±1.9	±1.5	±0.13	±0.22
1.0	±5.9	±5.2	±3.5	±2.9	±0.15	±0.24
1.5	±6.2	±5.3	±4.4	±3.8	±0.18	±0.26
2.0	±6.8	±5.2	±4.7	±4.2	±0.24	±0.31
2.5	±7.4	±5.4	±5.0	±4.4	±0.35	±0.35
3.0	±8.5	±5.4	±5.2	±4.4	±0.44	±0.55

[0072] 図11は、表2のそれぞれの例において堆積速度に対してガラスパイプの外径の変動量をプロットしたグラフであり、図12は、表2のそれぞれの例において堆積速度に対してガラスロッドの径の変動量をプロットしたグラフである。以上の測定結果から明らかのように、比較例3, 4とも各堆積速度に対するパイプ外径変動及び内付け部の径の変動は大きく変化した。これに対し、実施例3では、パイプ外径変動および内付け部の径の変動のいずれにおいても、ばらつきの小さい満足のできる品質が得られた。

実施例 4

[0073] 外径(直径)がφ42、肉厚が3 mmであり、0.6重量%のフッ素を含む石英パイプを、熱源として熱プラズマバーナを使用して、パイプ外表面の最高温度が1800℃となるように加熱し、堆積速度1.5g/分の $\text{GeO}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-SiO}_2$ ガラス層(比屈折率差は純 SiO_2 に対して0.3%程度)を堆積した場合の外径変動を求めた。図13は、実施例4において石英パイプ内の圧力の変化率の上限をパラメータとして、石英パイプの外径(直径)を石英パイプの長手方向の位置に対してプロットしたグラフである。図13において、I)は、パイプの内圧の変動に制限を設けなかったとき(最大±80 Pa/秒で変化)、II)はパイ

プの内圧の変動を ± 60 Pa/秒に制限したとき、III)はパイプの内圧の変動を ± 50 Pa/秒に制限したとき、IV)はパイプの内圧の変動を ± 30 Pa/秒に制限したとき、V)はパイプの内圧の変動を ± 10 Pa/秒に制限したとき、である。このとき、パイプ内の圧力のそれぞれ平均値は $+200$ Pa程度であった。

[0074] パイプの内圧の変動の大きな、(I)、(II)の条件ではパイプ外径の変動が直径で ± 1 mmよりも大きく、MCVD法としては十分な品質を得ることが出来ない。(III)の ± 50 Pa/秒に制限した場合には、変動を ± 1 mm以下に抑えることが可能であるが、(IV)の ± 30 Pa/秒に制限した場合よりも変動量が大きくなっている。(V)の ± 10 Pa/秒以下にまで、パイプ内圧の変化を抑制してしまうと、パイプ内の圧力変化が遅くなりすぎ、ススの堆積厚みが厚くなる部分で縮径が見られたが、外径の変動量を直径で ± 1 mm以内に抑制することは可能である。

[0075] このように、パイプ内圧の時間あたりの変化量を ± 50 Pa/秒以下に、より好ましくは ± 30 Pa/秒以下に制限すると、外径の変動を抑制でき、良好なMCVD法を実施可能である。また、内圧の変化量を制限する場合には、 ± 10 Pa/秒以上の変化は許容すると良い。

実施例 5

[0076] 図1の石英パイプ3の下流域、ハンドリング用パイプ6には、透明化していないススが大量に堆積してしまう箇所がある。このようなススは、図示しないススを掻き出す手段によって掻き出され、スス捕集部31に捕集されたり、排気部17から排出されたりするが、掻き出しきれずに石英パイプ3の下流域やハンドリング用パイプ6に残留してしまうスス体も多い。このようなスス体は、パイプ内の圧力が減少すると、逆流してしまう場合がある。有効部へのススの逆流は、光ファイバ母材の不良に繋がるので、発生させない方が良い。なお、このような逆流は、パイプ内の圧力と、パイプ外の圧力が殆ど等しくなる場合に、発生しやすいことが判った。

[0077] 表3は、パイプ内の圧力と、その圧力に保持した時間と、ススの逆流の有無との関係を調査した結果である。パイプ内の圧力は目標値から、 ± 3 Pa程度の偏差を含み、継続時間は ± 0.2 秒程度の偏差を含む。そのため、ススの逆流は毎回発生するものではないため、同じ条件(N=20)だけ繰り返して実施した際、そのうちの何回ススが逆流

したのかを調査したものである。

[0078] [表3]

パイプ内圧力 Pa	継続時間 秒	スス逆流が発生した回数/実験N数
-20	1	15回/20回
0	1	8回/20回
+20	1	0回/20回
+20	2	2回/20回
+20	5	8回/20回
+40	10	0回/20回

[0079] このように、パイプ内の圧力が低いほどススの逆流が発生する可能性が高くなることが判る。また、継続時間が長いほどススの逆流が発生する可能性が高くなることが判る。好ましくは、+20 Pa以下にならないようにするべきである。また、+20 Paとなっても、2秒以上、継続してはならない。

[0080] 日本特許出願2004-053842(2004年 2月27日出願)の明細書、クレーム、図面、要約書を含むすべての開示は、本明細書に統合される。

産業上の利用可能性

[0081] 本発明の光ファイバ母材を製造する方法および装置によれば、長手方向で形状の変化が少ない光ファイバ母材を得ることが出来る。薄肉の石英パイプに対して大きな堆積速度でガラスを堆積させる場合に、特に有用である。

請求の範囲

- [1] 少なくともガラス原料を含むガスを石英パイプの内部に投入しつつ前記石英パイプの長手方向に熱源を相対的に移動させて前記石英パイプを外部から加熱して前記石英パイプ内にガラス層を堆積させる工程を有し、
- 前記堆積させる工程では、前記石英パイプに排気部またはバッファガス導入部が合計で二つ以上接続され、前記排気部からの排気ガス量または前記バッファガス導入部への導入ガス量の少なくとも一つがフィードバック制御されると共に、前記排気部からの排気ガス量または前記バッファガス導入部への導入ガス量の他の少なくとも一つが前記石英パイプ上の加熱位置に応じた流量パターンに従ってパターン制御されている、
- 光ファイバ母材を製造する方法。
- [2] 前記堆積させる工程では、前記フィードバック制御は、前記石英パイプ内の圧力を測定し、前記圧力が前記加熱位置に応じて設定される目標値に一致するように前記排気部からの排気ガス量または前記バッファガス導入部への導入ガス量の少なくとも一つを制御する、
- 請求項1の光ファイバ母材を製造する方法。
- [3] 前記堆積させる工程では、前記フィードバック制御は、前記加熱位置の近傍における前記石英パイプの形状を測定し、前記形状が所定形状になるように前記排気部からの排気ガス量または前記バッファガス導入部への導入ガス量の少なくとも一つを制御する、
- 請求項1の光ファイバ母材を製造する方法。
- [4] 前記堆積させる工程では、前記形状の実測値を予め設定された目標値に一致させるために必要な前記石英パイプ内の圧力の最適値を算出し、前記石英パイプ内の圧力を前記最適値に一致させるように制御する、
- 請求項3の光ファイバ母材を製造する方法。
- [5] 前記堆積させる工程では、前記形状は前記石英パイプの外径、内径、肉厚の少なくとも一つである、
- 請求項3または4の光ファイバ母材を製造する方法。

- [6] 前記堆積させる工程では、前記ガラス層の堆積速度は0.5 g/分以上である、
請求項1ないし5のいずれかの光ファイバ母材を製造する方法。
- [7] 前記堆積させる工程では、前記石英パイプ内の圧力の調整範囲における最大値と
最小値との比を2倍以上とする、
請求項1ないし6のいずれかの光ファイバ母材を製造する方法。
- [8] 前記堆積させる工程では、前記ガラス層を堆積した後の長手方向における前記石
英パイプの外径の変動量が直径で±1
mm以下である、
請求項1ないし7のいずれかの光ファイバ母材を製造する方法。
- [9] 前記堆積させる工程では、前記石英パイプ内における圧力の変化量が、1秒あたり
、-50 Pa以上+50 Pa以下である、
請求項1ないし8のいずれかの光ファイバ母材を製造する方法。
- [10] 前記堆積させる工程では、前記石英パイプ内における圧力が、継続して+20 Pa以
下となる時間が2秒未満である、
請求項1ないし8のいずれかの光ファイバ母材を製造する方法。
- [11] 石英パイプの一端から内部に少なくともガラス原料を含むガスを導入するガス供給
系と、
前記石英パイプの他端に接続可能な合計二つ以上の排気部またはバッファガス導
入部と、
前記石英パイプの長手方向に相対的に移動する熱源と、
前記熱源による前記石英パイプ上の加熱位置を検出する位置検出手段と、
前記加熱位置に応じた流量パターンに従って前記排気部からの排気ガス量または
前記バッファガス導入部への導入ガス量の少なくとも一つを制御する第1の制御手段
と、
前記排気部からの排気ガス量または前記バッファガス導入部への導入ガス量の他
の少なくとも一つをフィードバック制御する第2の制御手段
とを有す光ファイバ母材を製造する装置。
- [12] 前記石英パイプ内の圧力を測定する圧力測定手段をさらに有し、

第2の制御手段は、前記石英パイプ内の圧力が前記加熱位置に応じて設定される目標値に一致するように、前記排気部からの排気ガス量または前記バッファガス導入部への導入ガス量の他の少なくとも一つをフィードバック制御する、

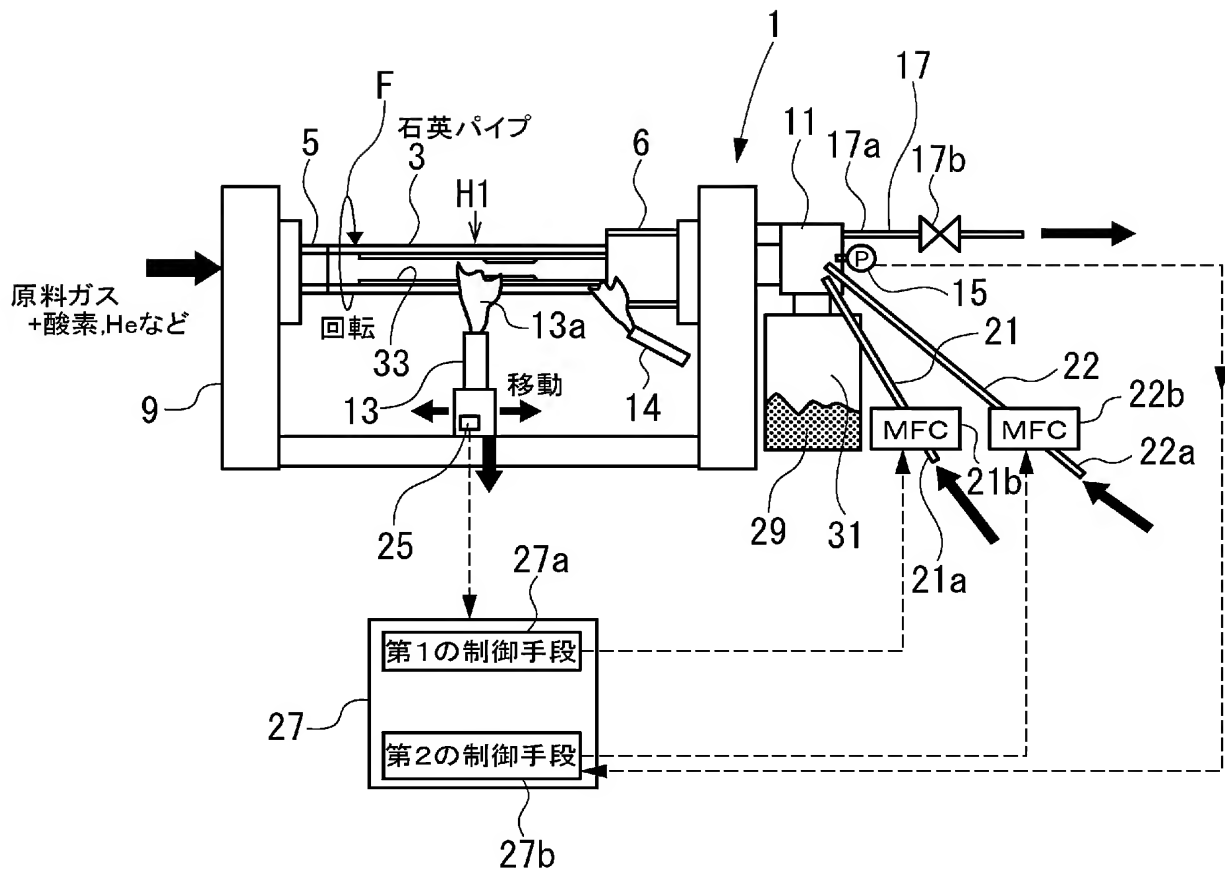
請求項11の光ファイバ母材を製造する装置。

- [13] 前記熱源の加熱位置近傍で前記石英パイプの形状を測定する形状測定手段をさらに有し、

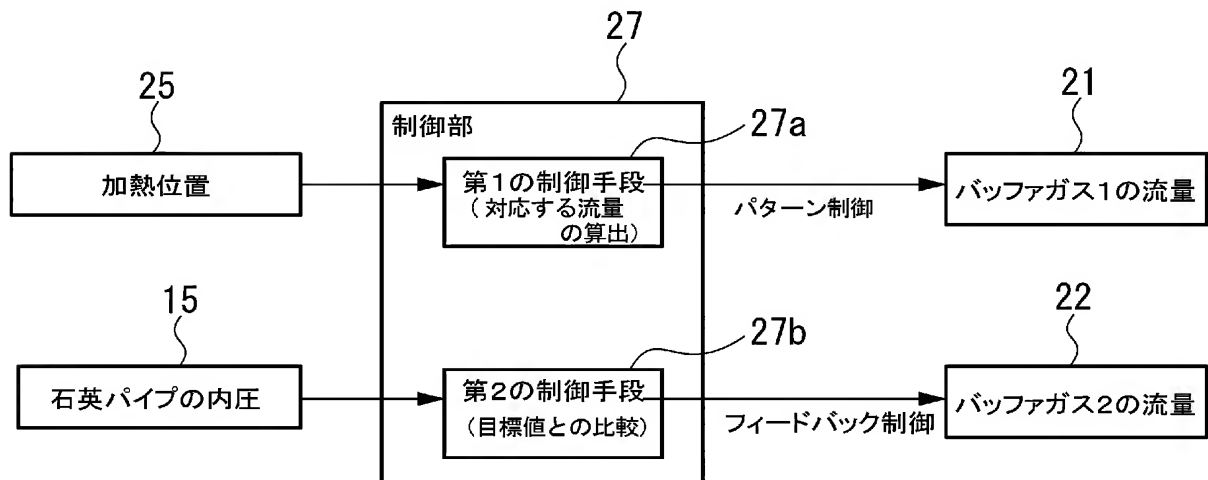
第2の制御手段は、前記形状測定手段により測定された前記パイプ形状をあらかじめ設定された目標パイプ形状に一致するように、前記排気部からの排気ガス量または前記バッファガス導入部への導入ガス量の他の少なくとも一つをフィードバック制御する、

請求項11ないし12のいずれかの光ファイバ母材を製造する装置。

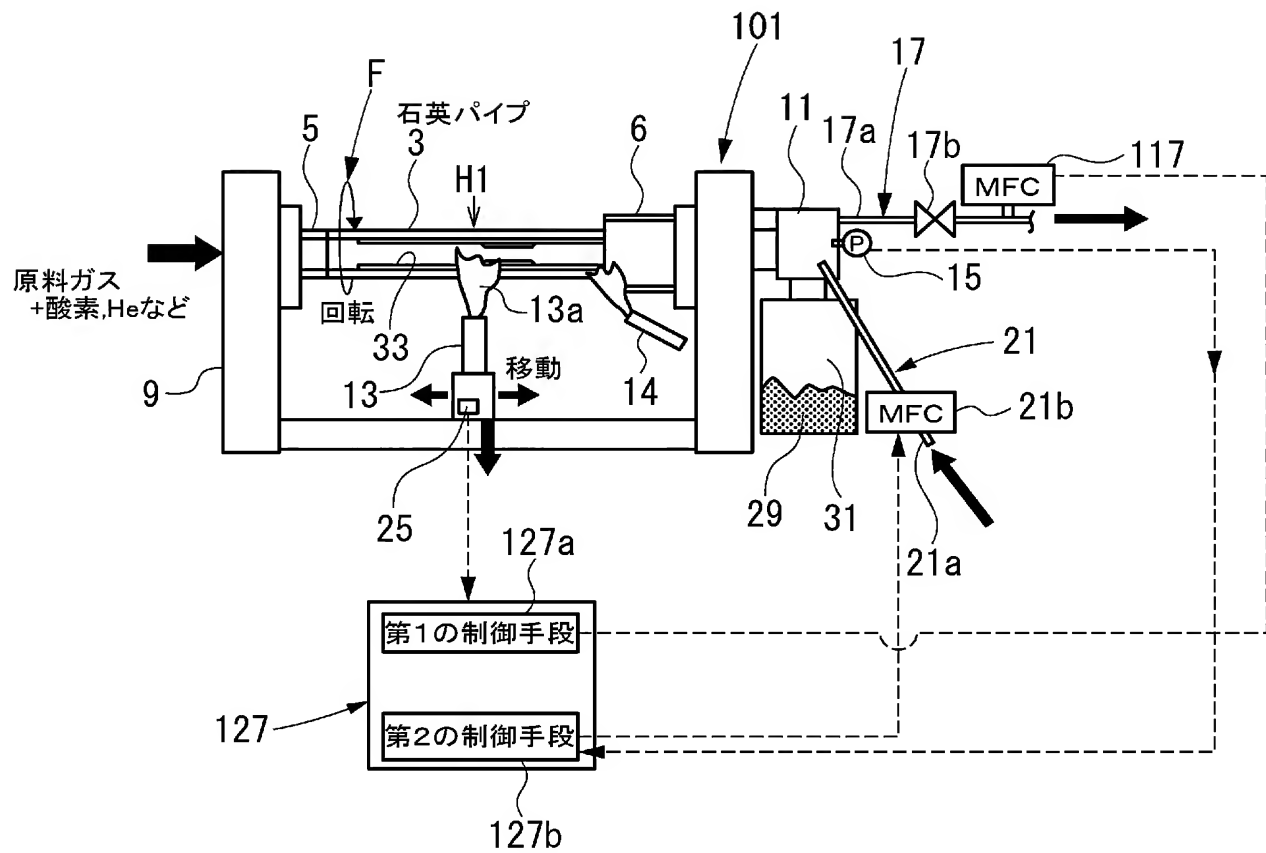
[図1]



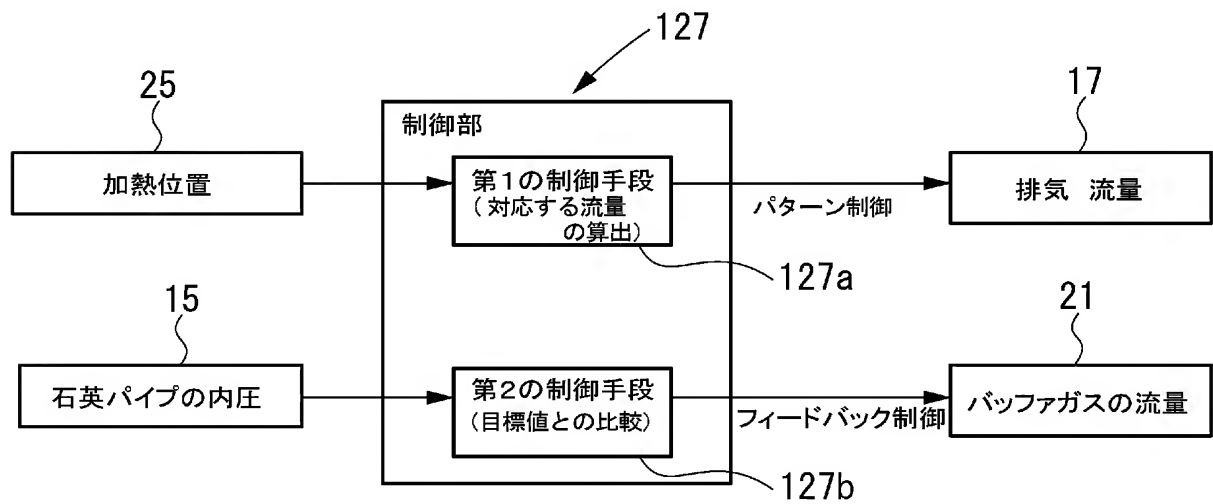
[図2]



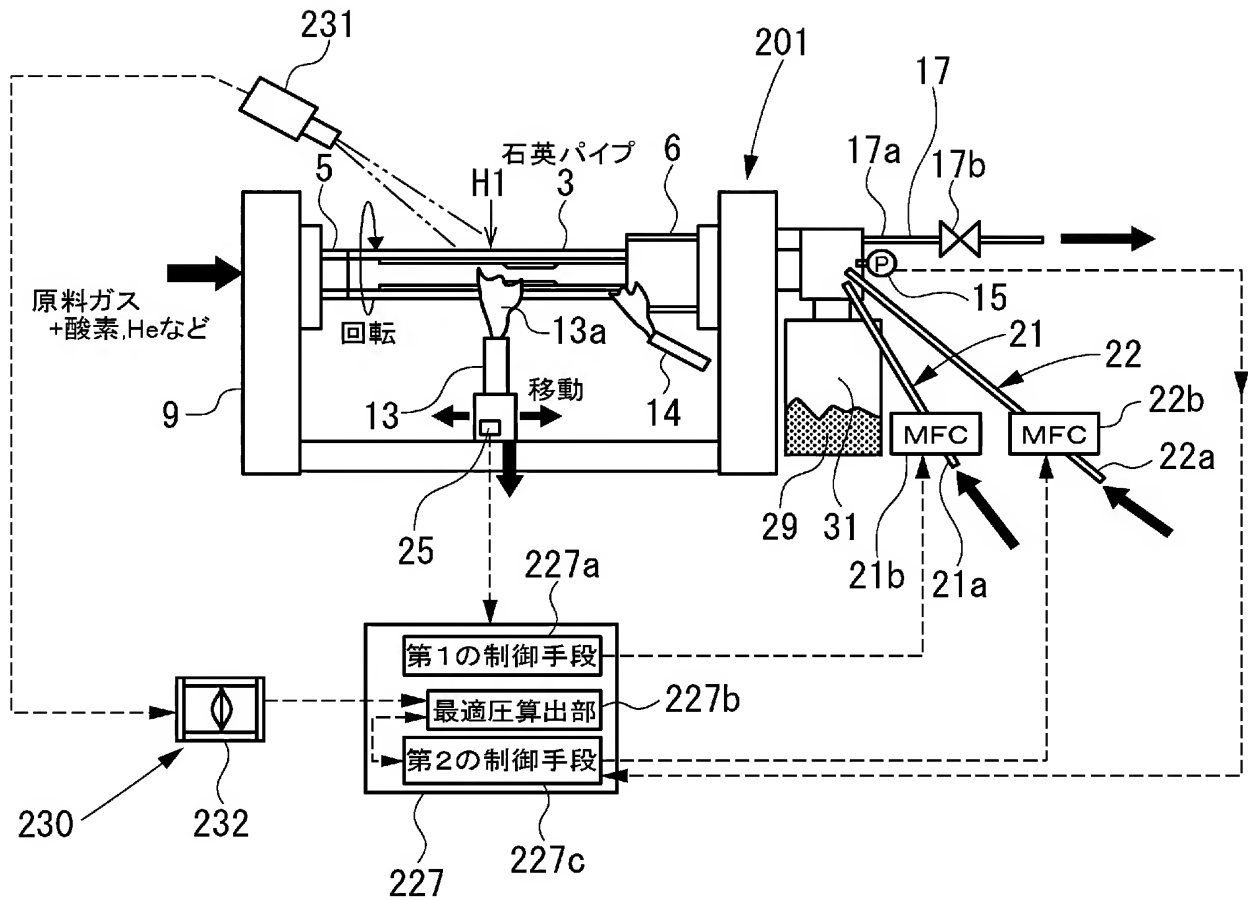
[図3]



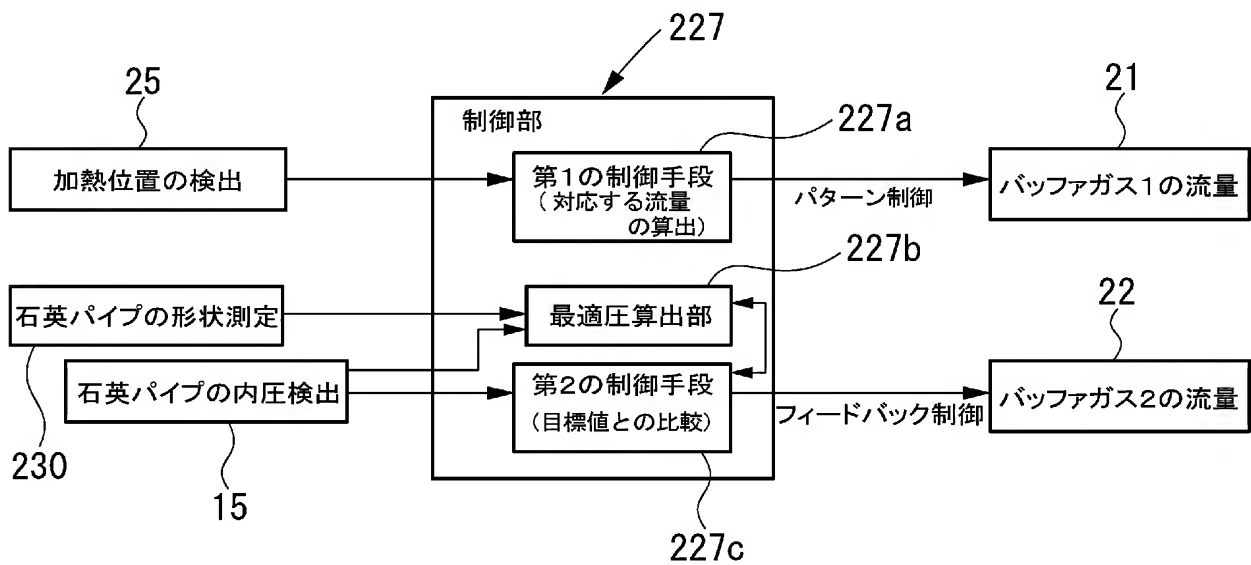
[図4]



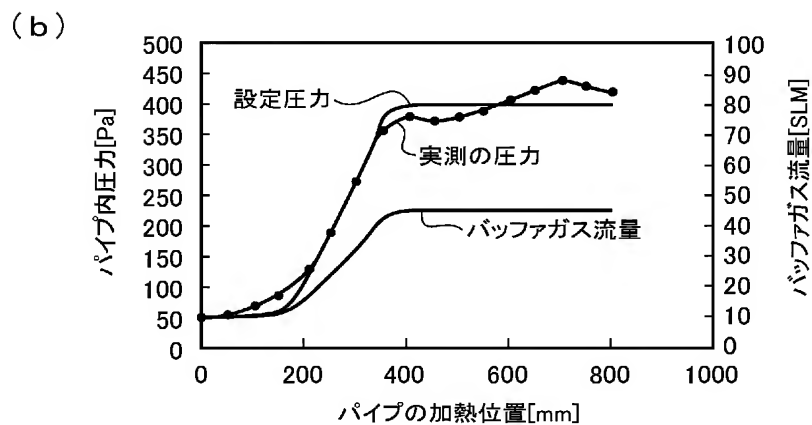
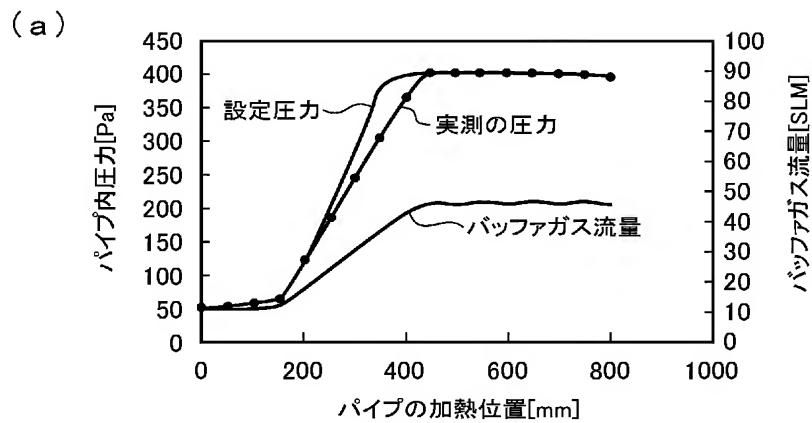
[図5]



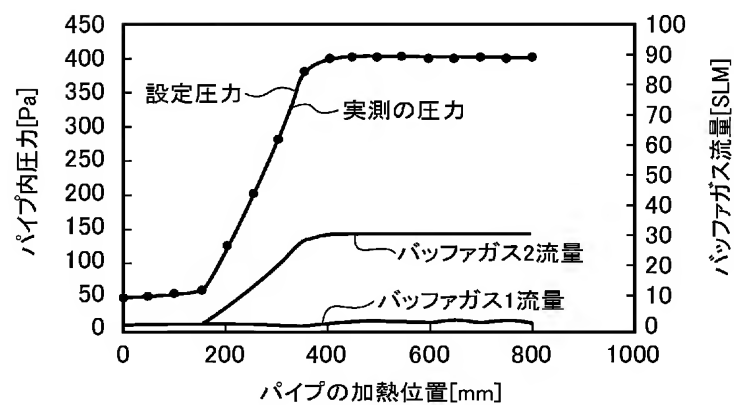
[図6]



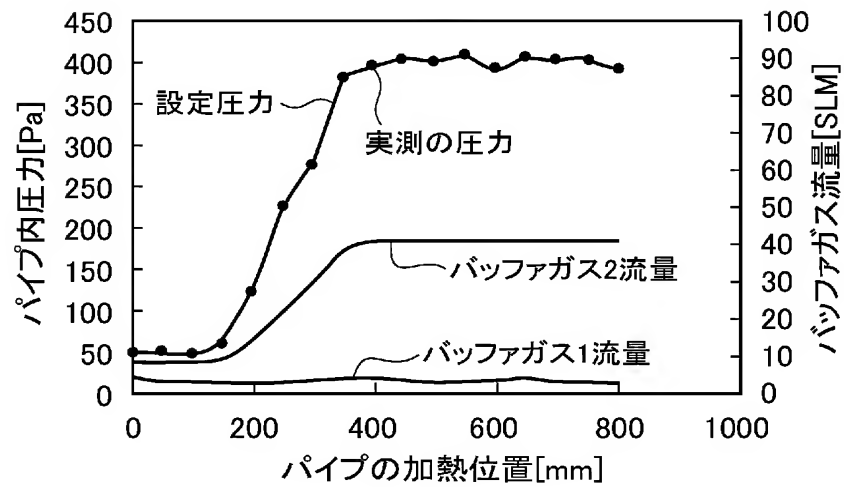
[図7]



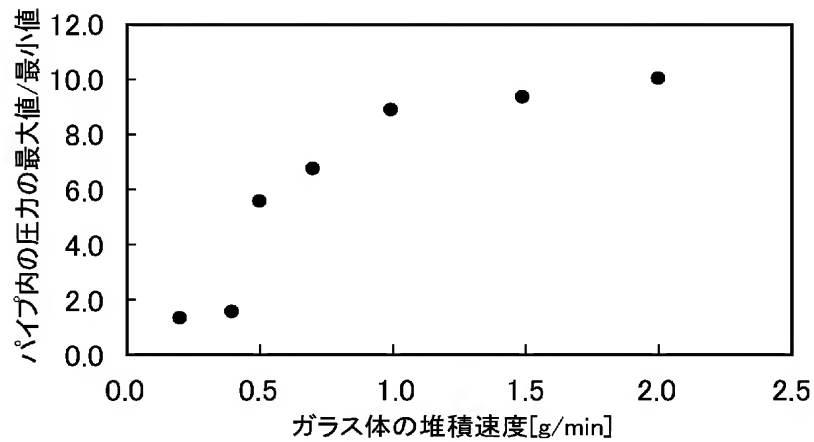
[図8]



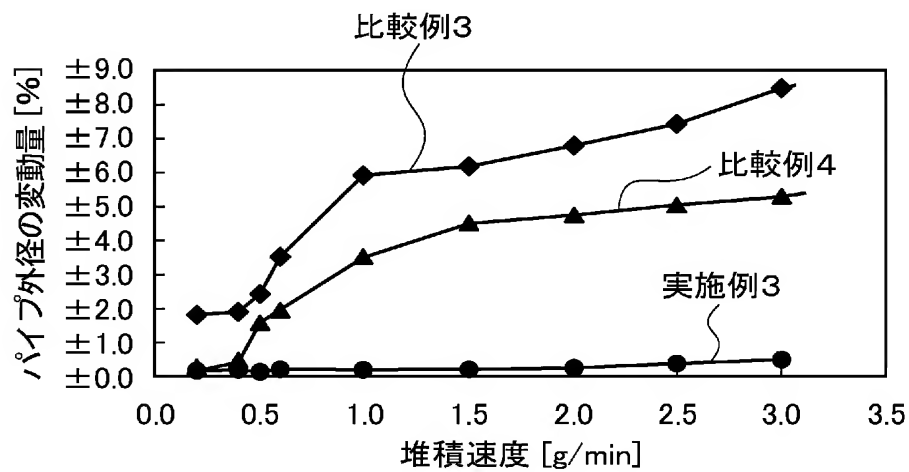
[図9]



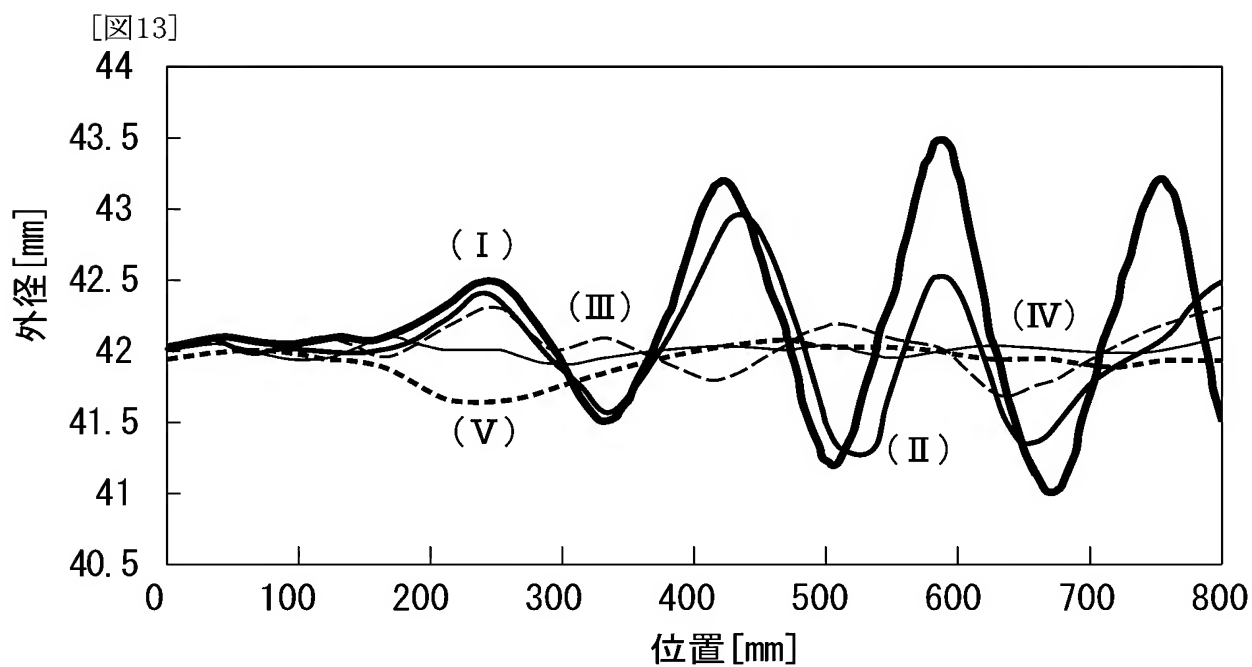
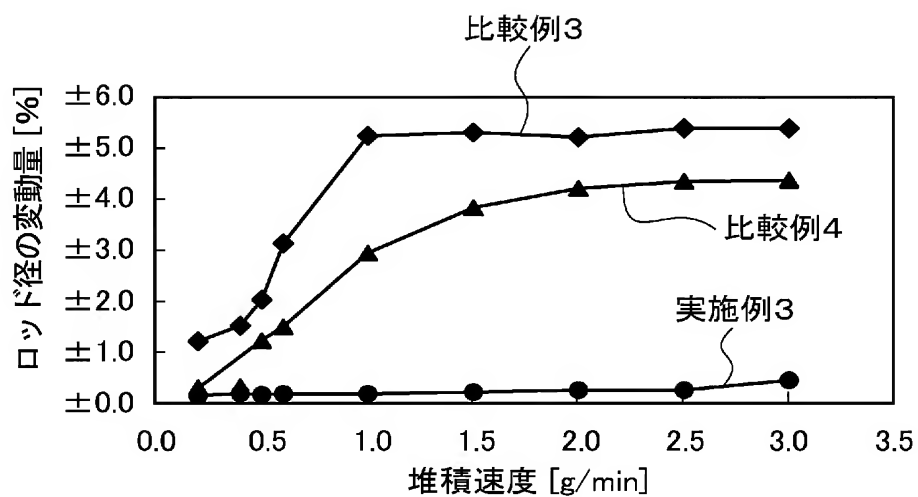
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/002874

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl.⁷ C03B37/018, C03B8/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ C03B37/012-37/018, C03B8/04, C03B37/07

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 61-295248 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 26 December, 1986 (26.12.86), Full text & US 4813989 A Full text	1-13
P,A	JP 2004-99342 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 02 April, 2004 (02.04.04), Claims; Par. Nos. [0006] to [0007]; drawings (Family: none)	1-13



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
08 April, 2005 (08.04.05)

Date of mailing of the international search report
26 April, 2005 (26.04.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/002874

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, A	JP 2004-224588 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 12 August, 2004 (12.08.04), Claims; Par. Nos. [0018] to [0023]; drawings (Family: none)	1-13

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ C03B37/018, C03B8/04

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ C03B37/012-37/018, C03B8/04, C03B37/07

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 61-295248 A (古河電気工業株式会社) 1986. 12. 26, 全文 & US 4813989 A, 全文	1-13
P, A	JP 2004-99342 A (住友電気工業株式会社) 2004. 04. 02, 特許請求の範囲, [0006]-[0007], 図面 (ファミリーなし)	1-13
P, A	JP 2004-224588 A (住友電気工業株式会社) 2004. 08. 12, 特許請求の範囲, [0018]-[0023], 図面 (ファミリーなし)	1-13

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

08. 04. 2005

国際調査報告の発送日

26. 4. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

永田 史泰

4 T

3029

電話番号 03-3581-1101 内線 3465